

7. Вельбицкий, И. В. Графическое программирование и доказательство правильности программ [Электронный ресурс] / И. В. Вельбицкий. – Режим доступа: <http://glushkov.org/wp-content/uploads/131120-csitd180d183d181-9c2.pdf>.
8. Дружелюбный русский алгоритмический язык, который обеспечивает наглядность (ДРАКОН) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/D0%94%D0%A0%D0%90%D0%9A%D0%9E%D0%9D>.
9. SOA Design Patterns [Electronic resource] / Available at: http://soapatterns.org/design_patterns/overview.
10. Bellomo, S. Suggestions for Documenting SOA-Based Systems. Technical Report [Text] / S. Belomo. – Hanscome, MA: Carnegie Mellon University, 2010. – 42 p.
11. Reference Architecture Foundation for Service Oriented Architecture [Electronic resource] / Available at: <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/soa-ra/v1.0/soa-ra-cd-02.html>.
12. NoFloJS [Electronic resource] / Available at: <http://noflojs.org/documentation/>.
13. Parks, T. M. A Comparison of Synchronous and Cyclo-Static Dataflow [Text] : proc. of Asilomar conf./ T. M. Parks, J. L. Pino, E. A. Lee // Signals, Systems and Computers. – 1995. – Vol. 1. – P. 204–210.
14. Blume, P. A. The LabVIEW Style Book [Text] / P.A. Blume. – Prentice Hall, 2007. – 400 p.
15. Falgout, Jim Dataflow Programming: A Scalable Data-Centric Approach to Parallelism [Electronic resource] / Available at: <http://soa.sys-con.com/node/1678918>.

В статті розглянуто похибки вимірювання температури біологічного палива, що здійснюється на основі використання термоелектричного перетворювача у термоанемометричному витратомірі (ТАВ). Представлено основні вимоги до витратомірів біологічного палива, що впливають на підвищення точності вимірювання та швидкодію ТАВ. Розглянуто складові частини похибки з урахуванням робочих умов використання витратоміра. Виконано експериментальні дослідження похибок витратоміра біологічного палива

Ключові слова: біологічне паливо, термоанемометр, тахометр, електроперетворювачі, термоперетворювач, дифманометр, трубопровід, лічильник, датчик

В статье рассмотрены погрешности измерения температуры биологического топлива осуществляется на основе использования термоэлектрического преобразователя в термоанемометрические расходомеры (ТАВ). Представлены основные требования к расходомерам биологического топлива, влияющие на повышение точности измерения и быстродействие ТАВ. Рассмотрены составные части погрешности с учетом рабочих условий использования расходомера. Выполнены экспериментальные исследования погрешностей расходомера биологического топлива

Ключевые слова: биологическое топливо, термоанемометр, дифманометр, электропреобразователи, термопреобразователь, манометр, трубопровод, счетчик, датчик

УДК 531.383

ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ БІОЛОГІЧНОГО ПАЛИВА У ТЕРМО- АНЕМОМЕТРИЧНОМУ ВИТРАТОМІРІ

Ю. О. Шавурський

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра автоматизованого управління
технологічними процесами
та комп'ютерних технологій
Житомирський державний
технологічний університет
вул. Черняхівського 103, м. Житомир,
Україна, 10005
E-mail: shavursky@gmail.com

1. Вступ

Активне заміщення біопаливом традиційних нафтопродуктів спостерігається в багатьох країнах світу. В ЄС у 2008 р. працювало більше 40 потужних заводів, які виробили майже 2 млн т біодизеля, зокрема 1000 т. у Німеччині, 350 т. – у Франції, 320 т. – в Італії,

160 т. – у Данії, 60 тис т. – у Чехії. У 2010 р. заплановано виробити близько 6 млн т. біодизельного палива. При цьому потреба ЄС у ріпаковому насінні становить 12 млн т, із них лівову частину за сприятливих умов може поставити Дванадцять мільйонів тонн ріпаку – потреба Європи, лівову частину з яких Україна разом з Росією за сприятливих умов цілком здатні забезпечити.

Заводи з виробництва біодизеля (метилового ефіру ріпакової олії) коштують мільйони доларів. Проте застосування ріпакової олії замість традиційного дизельного палива – рішення цілком економічне.

В Україні заміщенням біопаливом традиційних нафтопродуктів можна також захистити аграріїв від сезонних стрибків цін під час весняних та осінніх польових робіт, а також гарантувати їм ринок збуту рослинної сировини.

Використання біологічного палива в автотранспортній галузі є не лише економічним показником використання енергоресурсів нашої країни, а і екологічним, що зменшує кількість викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Не дивлячись на широку номенклатуру засобів виміру витрати, існують такі відомі: по діапазонах – малі і мікровитрати; і по їх властивостях – складі, наприклад, багатofазні потоки. Для виміру потоку біологічного палива застосовуються найбільш перспективні в даний час неконтактні засоби виміру – ультразвукові, кореолісові, а також теплові. Проте існуючі теплові витратоміри (термоанемометричного та калориметричного типу) не дозволяють отримувати інформацію про витрату біопалива у потоці і область їх функціонування обмежена малими величинами. Дана робота присвячена тепловим методам вимірювань, що володіють широкою інформативністю і високою експлуатаційною надійністю, з метою використання сучасних інформаційно-обчислювальних пристроїв. Для вирішення поставленого завдання найбільш актуальним є вживання сукупності теплових методів і створення нових структур витратомірів, що дозволяють робити вимірювання витрат повністю автоматизованим з високою швидкодією.

2. Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з її науковими та практичними задачами

Високоточні витратоміри палива необхідні у машинобудуванні, приладобудуванні та в автомобільній галузі. Однією з найбільш важливих галузей застосування є використання витратоміру в автомобілях у складі комплексу його приладів. Ефективність роботи всього комплексу значною мірою обумовлена саме конструкцією та точнісними характеристиками витратоміру. Одним з найперспективніших типів витратомірів для вимірювань витрат палива є термоанемометричний витратомір (ТАВ). Зростаючі вимоги до точності та швидкодії націлюють на пошук більш точних ТАВ.

Останнім часом, у зв'язку з дефіцитом та високою вартістю звичайного палива, перспективним вважається використання біопалива. Однак, відсутні роботи, в яких були б вирішені наступні задачі: надано опис ТАВ для автомобіля, працюючого на біопаливі, були б наведені всі необхідні розрахунки похибок такого ТАВ; був би проведений аналіз можливості та доцільності використання цього ТАВ.

Тому актуальною задачею є підвищення точності та швидкодії нового автоматизованого ТАВ для біопалива. Отримання математичних моделей та детальних характеристик похибок вимірювання температури біопалива в ТАВ дозволяє розробити методики та проце-

дури їх алгоритмічної компенсації та підвищити точність визначення витрат цього палива в автомобілях.

3. Аналіз існуючих досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Вагомий вклад у розвиток методів та засобів вимірювань витрат енергоносіїв внесли наукові школи, сформовані в інституті проблем моделювання в енергетиці ім. П. Е. Пухова НАНУ та в НТУУ «КПІ» [1], та інші вищі навчальні заклади та установи НАН України.

Сьогодні відомі окремі описи конструкцій і технічні характеристики деяких витратомірів. Однак детального порівняння аналізу точнісних характеристик ТАВ у літературі [2, 3] немає. Окремі розрізні відомості стосуються деяких ТАВ або їх окремих аспектів.

У існуючих ТАВ [4, 5] для вимірювання теплових параметрів біопалива використовується один або два термоперетворювачі, розташовані безпосередньо біля нагрівача. Математична модель існуючих витратомірів зводиться до рівня теплового балансу нагрівача, що охолоджується потоком рідини або до визначення різниці температур в двох фіксованих точках [2].

В розробленому високоточному ТАВ для підвищення точності визначення витрат моторного палива, використовуються групи термоперетворювачів. Таке рішення забезпечує визначення величини температурного поля в множині точок потоку моторного палива, а наступна алгоритмічна обробка отриманих значень на ЕОМ дозволяє компенсувати ряд похибок вимірювань. Тому для такого витратоміру необхідно створити нову математичну модель похибок вимірювання температури термоперетворювачами, що враховує детальний розподіл температурного поля в усіх точках потоку моторного біопалива.

У зв'язку з тим, що в літературі відсутні детальні відомості щодо математичної моделі ТАВ та його похибок, метою проведеного в статті дослідження є розробка математичної моделі похибок, що мають місце в ТАВ при визначенні температури біопалива термоелектричними перетворювачами.

Ця модель може бути використана для алгоритмічної компенсації похибок і підвищення точності вимірювальних систем, що призначені для контролю поточних витрат біопалива.

4. Вимоги до витратомірів біологічного палива

В даний час до витратомірів біопалива пред'являється багато вимог, задовольнити які достатньо складно.

Є дві групи вимог. До першої групи відносяться індивідуальні вимоги: висока точність, надійність, незалежність результатів вимірювання від зміни щільності речовини, швидкодія і значний діапазон вимірювання. До другої групи відносяться вимоги, які характеризують всю групу витратомірів палива: необхідність вимірювання витрати дуже різноманітної номенклатури речовини при властивостях, що відрізняються, різних значеннях витрати від дуже малих до надзвичайно великих і при різному тиску і температурах [6, 7].

Розглянемо ці вимоги:

1. Висока точність вимірювання – одна з основних вимог, що пред'являються до витратомірів. Якщо раніше похибка вимірювання в 3,0 % вважалась задовільною, то у даний час потрібно мати похибку 1,5 %. Підвищення точності досягається як за рахунок застосування нових прогресивних методів і приладів (тахометричних, електромагнітних, ультразвукових і т. п.), так і за рахунок вдосконалення старих класичних методів. До найбільш точних належать камерні лічильники палива (зокрема, з овальними шестернями і лопасті).

Похибка перших 0,5 %, а других навіть не більше 0,2 % від вимірюваної величини [7, 8]. Витратоміри із звужуючими пристроями менш точні. Зниження їх похибки досягається за допомогою зносостійких діафрагм, а також при підвищенні точності дифманометрів і застосуванні обчислювальних пристроїв для обліку зміни щільності речовини.

2. Надійність (наряду з точністю) – одна з головних вимог, що пред'являються до витратомірів палива. Основним показником надійності є час, в течію до якого прилад зберігає працездатність і достатню точність. Цей час залежить як від пристрою приладу, так і від його призначення і умов застосування.

Витратоміри, що встановлюються на автомобілях, значно відрізняються по своїй конструкції від стаціонарних приладів, вживаних в лабораторній практиці або в технологічних процесах багатьох виробництв, хоча в них, як правило, використовуються ті ж принципи дії. Особливості автомобільних приладів залежать від специфіки вимог, що пред'являються до них в експлуатації. Ці вимоги обумовлені наступними причинами.

На прилади, встановлені на автомобілях, впливають значні вібрація і трясіння. Так, на приладовій панелі сучасних автомобілів вібрація може досягати величини 0,5–2 g. Датчики приладів, розміщені на двигуні або трансмісії піддаються вібрації до 15 g. Тому прилади повинні безперервно і справно працювати в цих умовах [9, 10].

В умовах експлуатації прилади працюють при різних температурах навколишнього середовища, що коливаються від мінус 60 °C в північних районах до плюс 60 °C в тропіках. При цьому залежно від місця установки приладу, температура його може досягати плюс 120 °C. На прилади потрапляє пил, бруд, вода, масло, паливо, солі (в умовах морського клімату), комахи і грибки (у вологих тропіках). Отже, матеріали і покриття витратомірів повинні бути стійкими до перерахованих дій, а внутрішні частини приладів ущільнені або герметизовані [11].

Електричні прилади з живленням від бортової мережі повинні бути малочутливі до змін напруги в межах 11–15 В в 12-вольтних мережах, та 22–30 В в 24-вольтних системах. Прилади також повинні бути нечутливими до пульсації живлячої випрямленої напруги, яка виникає у разі застосування генератора змінного струму.

Автомобілі використовують в місцевостях з різними висотами над рівнем моря, тому прилади повинні працювати при барометричному тиску, що практично зустрічається в районах, де є дороги, тобто при зміні атмосферного тиску від 650 до 800 мм.рт.ст.

Тахометричні прилади, елементи яких при вимірюванні безперервно рухаються, мають менший термін служби. Так, у турбінних витратомірів знос осі і опор буде тим менше, чим краща змащувана здатність вимірюваної речовини і чим вона чистіше. Для підвищення надійної роботи цих витратомірів необхідне застосування фільтрів або інших очисних пристроїв. У технічних умовах на деякі тахометричні витратоміри турбінного типу вказується шестирічний термін нормальної роботи [12].

3. Незалежність результатів вимірювання від зміни густини речовини. В більшості випадків необхідно мати пристрій, що автоматично вводить корекцію в показання приладу при зміні щільності (або температури і тиску) вимірюваної речовини. Лише у теплових і силових витратомірів, що вимірюють масову витрату, зміна щільності вимірюваної речовини дуже мало позначається на результатах вимірювання.

4. Швидкодія приладу, визначається його гарними динамічними характеристиками, необхідна перш за все при вимірюванні швидко змінних витрат, а також у випадку застосування приладу в системі автоматичного регулювання.

Швидкодію більшості витратомірів зручно оцінювати значенням його постійної часу T , тобто часу, протягом якого покази приладу при стрибкоподібній зміні витрати від Q_1 до Q_2 змінюються приблизно на дві третини від значення $Q_2 - Q_1$. Турбінні витратоміри мають дуже малу постійну часу T (в межах сотих і тисячних долей секунди). У теплових же витратомірів час T вимірюється десятками секунд. Для поліпшення їх швидкодії застосовують особливі вимірювальні схеми (диференціюючі). Витратоміри зі звужуючими пристроями займають проміжне положення. У цих витратомірах час T зменшується зі зменшенням довжини сполучних трубок, а також вимірювального об'єму дифманометра і збільшенням його граничного перепаду тиску.

5. Великий діапазон вимірювання ($Q_{\max} \setminus Q_{\min}$) необхідний, коли значення витрати палива можуть змінюватися в значних межах. У приладів з лінійною характеристикою, наприклад електромагнітних, цей діапазон рівний восьми – десяти, у витратомірів зі звужуючими пристроями він дуже малий і рівний трьом. Збільшити його до дев'яти-десяти можна шляхом підключення до звужуючого пристрою двох дифманометрів. У теплових витратомірів можна за допомогою зміни потужності нагрівача одержати багатоміжну шкалу з дуже великим загальним діапазоном вимірювання.

6. Дуже різноманітна номенклатура вимірюваних палив, які можуть бути не тільки однофазними, але і багатфазними. Основні методи вимірювання витрати палива були розроблені для однофазних палив.

При цьому треба враховувати як параметри (тиск, температуру), так і особливі властивості (агресивність, абразивність, токсичність, вибухо-небезпечність і та інші) речовин.

Паливну економічність автомобілів доцільно оцінювати не тільки періодично (по контрольній витраті палива), але і безперервно під час руху: це дозволяє підтримувати автомобіль в технічно справному стані (підвищена витрата палива майже завжди пов'язана з несправностями вузлів і агрегатів автомобіля) і спри-

яє виробленню навиків економічного стилю водіння (при правильному виборі режимів можна економити до 30 % палива) [13].

При дослідженні похибок враховано ряд суттєвих особливостей, наявних у розробленому витратомірі моторного палива:

- тепловий вплив нагрівача має постійну потужність, що постійно підводиться до цього нагрівача;
- термоперетворювачі розташовані вздовж осі потоку моторного палива, тому розподіл температур визначається вздовж однієї просторової координати, що відповідає відстані термоперетворювача від нагрівача;
- оторне паливо з альтернативної сировини може мати різні фізико-хімічні властивості, а діапазон змін його витрат при експлуатації витратоміра на автомобільному транспорті може бути досить широким, тому розглядається як ламінарний, так і турбулентний режим течії моторного палива через витратомір;
- іапазон зміни початкової температури моторного палива при експлуатації витратоміра на автомобільному транспорті може бути досить широким, тому вводиться корекція витратоміру з урахуванням цієї температури.

5. Дослідження похибок ТАВ, та їхній вплив на вимірювання витрати біологічного палива

Засобами вимірювання температури первинними термоперетворювачами, установками чи інформаційними вимірювальними системами, як і засоби вимірювання інших фізичних величин, не можуть забезпечити знаходження справжнього значення температури елементарного об'єму досліджуваного об'єкту, бо фізичні принципи й початкові умови виконання вимірювання так чи так порушуються. Результат вимірювання температури T_x відрізняється від її справжнього значення T_c на величину

$$\Delta T = T_x - T_c, \quad (1)$$

яку називають абсолютною похибкою. Відповідно до ГОСТ 16263-70 похибку вимірювання можна подавати в частках справжнього значення вимірюваної величини, яку називають відносною.

Результат вимірювання температури можна записати в Кельвінах чи в градусах Цельсія. Відносну похибку вимірювання температури для однозначності записують у вигляді:

$$\delta T = (T_x - T_c) / T_c \quad (2)$$

і показують відсотками.

Похибку вимірювання визначають наближено з тією чи іншою точністю залежно від умов і застосовуваних засобів вимірювання, кількості спостереження та методів обробки експериментальних даних.

Для вимірювання температури біодизельного палива, було використано термоелектричні (ТТ) перетворювачі із структурами вимірювальних кіл зрівноважувального і прямого перетворення, кожне з яких має свої переваги та вади. Термоелектричні термометри з колами зрівноважувального перетворення, які мають невелику точність використовують у більшості

для наукових досліджень. Точність можна підвищити ускладнюючи схему вимірювання і відповідно збільшивши її вартість, але це призведе до різкого зниження надійності термометра. Для масового вимірювання на автотранспортних засобах застосовують ТТ з колами прямого перетворення, бо вони є більш надійні та зберігають роботу здатність у будь-яких кліматичних умовах, мають малі габаритні розміри та масу і невисоку вартість.

Щоб дослідити і кількісно оцінити похибку вимірювання температури, розглянемо функцію перетворення термометра. Відомо, що зміну термо-ЕРС на виході термоелектричного перетворювача (ТЕП) у широкому діапазоні вимірюваних температур описує інтерполяційна формула

$$E = \sum_{i=0}^{\delta} a_i T^i, \quad (3)$$

де a_i – параметри функції перетворення ТЕП; T^i – температура робочого кінця ТЕП.

Урахувавши (3), можна записати залежність вимірюваної температури T від показу D термоелектричного термометра з прямим перетворенням:

$$D = KE = K \left(\sum_{i=0}^{\delta} a_i T^i \right), \quad (4)$$

де K – коефіцієнт перетворення термо-ЕРС на показ термометра D . У цьому разі припустимо, що реальні параметри $a_0, a_1, \dots, a_{\delta}$ ТЕП є сталими і дорівнюють своїм номінальним значенням $a_{0н}, a_{1н}, \dots, a_{\deltaн}$, а вираз для номінальної функції перетворення термометра має вигляд:

$$D = f_n(T, a_{0н}, a_{1н}, \dots, a_{\deltaн} \cdot K_n). \quad (5)$$

Під час тривалої експлуатації ТЕП у робочих умовах на діючому об'єкті його характеристика зазнає систематичного та випадкового дрейфу, внаслідок чого параметри функції перетворення термометра $a_{0н}, a_{1н}, \dots, a_{\deltaн}$ змінюються і є випадковими функціями часу. Відсутньої зміни зазнає і коефіцієнт K через похибку чутливості вторинного вимірювального приладу, а також через дію на термометр різних впливових величин від автомобіля та навколишнього середовища. Відмінність параметрів $a_{0н}, a_{1н}, \dots, a_{\deltaн}$ і коефіцієнта K від номінальних значень призводить до появи в результаті вимірювання похибки, яку можна подати у вигляді різниці

$$\Delta_{\text{вих}} = f_c [T, a_0(r), a_1(r), \dots, a_{\delta}(r) \cdot K_n] - f_n(T, a_{0н}, a_{1н}, \dots, a_{\deltaн} \cdot K_n), \quad (6)$$

де f_c і f_n – справжні і номінальні функції перетворення ТТ.

Визначення похибки термоелектричного термометра відповідно до (6) передбачає внутрішню перевірку каналу температури разом з перетворювачем, але це зробити важко, бо немає взірцевих мір температури, а також способів їх відтворення в реальних умовах об'єкта. Тому похибку ТТ оцінюють на підставі нормованих метрологічних характеристик (МХ) окремих засобів вимірювання, що їх містить термометр. У цьо-

му разі МХ визначають за результатами додаткових метрологічних випробувань засобів вимірювання.

Щоб кількісно оцінити похибку вимірювання, можна зобразити її математичною моделлю. Коли відомі МХ засобів вимірювання, то врахувавши їх реальний характер, на підставі ймовірнісно-статистичних методів дослідження похибок цих засобів вимірювання можна записати граничне значення похибки ТТ:

$$\Delta_0(T) = \Delta_{C.O}(T) + \Delta_0 + \Delta(I), \quad (7)$$

де $\Delta_{C.O}(T)$ – систематична складова похибки термометра, що характеризує математичне сподівання $M[\Delta_{C.O}(T)]$ і середнє квадратичне відхилення $\delta[\Delta_{C.O}(T)]$; Δ_0 – випадкова складова похибки вимірювання; $\Delta(I)$ – функція впливу зовнішніх факторів на систематичну складову похибки термометра, яка практично залежить від дії на вимірювальний прилад зовнішніх факторів, тобто $\Delta(I) = \Delta_{в.п.}(I)$.

Дослідивши механічну характеристику термоелектричного перетворювача, вимірювального приладу і компенсаційних провідників, визначаємо оцінку математичного сподівання систематичної складової похибки ТЕП, вимірювального приладу і компенсаційних проводів за нормальних умов:

$$M[\Delta_{C.O}(T)] = \bar{M}[\Delta_{C.ТЕП}(T)] + \bar{M}[\Delta_{C.К.П.}(T)] + \delta^2(\Delta_{C.В.П.}), \quad (8)$$

де $\bar{M}[\Delta_{C.ТЕП}(T)]$, $\bar{M}[\Delta_{C.К.П.}(T)]$ і $\bar{M}[\Delta_{C.O.В.П.}]$ – оцінки математичного сподівання систематичної складової похибки відповідно ТЕП, компенсаційних проводів і вимірювального приладу.

Середнє квадратичне відхилення (СКВ) систематичної складової $\delta(\Delta_{C.O})$ обчислюють статистичним підсумуванням значень СКВ складової похибки ТЕП $\delta(\Delta_{C.К.П.})$

$$\delta(\Delta_{C.O}) = \sqrt{\delta^2(\Delta_{C.ТЕП}) + \delta^2(\Delta_{C.К.П.}) + \delta^2(\Delta_{C.В.П.})}. \quad (9)$$

Похибку ТТ з урахуванням робочих умов вимірювання на об'єкті знаходять, досліджуючи вплив на неї зміни напруги живлення, температури навколишнього повітря, опору лінії зв'язку в разі зміни однієї з впливових величин і спільної їх зміни. Математичне сподівання систематичної складової похибки термометра з урахуванням зміни впливових величин оцінюють методами регресійного аналізу [13], з урахуванням даних досліджень [14], математичне сподівання похибки, зведеної до входу термометра, в умовах експлуатації розраховують за таким рівнянням:

$$\begin{aligned} \bar{M}[\Delta_C(T, I_1, I_2, \dots, I_n)] = \\ = \left[\bar{M}[\Delta_{C.ТЕП}(T)] + \bar{M}[\Delta_{C.К.П.}] + \bar{M}[\Delta_{C.В.П.}(E, I_1, I_2, \dots, I_k, \dots, I_n)] \right]. \quad (10) \end{aligned}$$

Оцінюючи похибку термометра в робочих умовах експлуатації на об'єкті, не враховують методичних похибок, значущість яких потрібно з'ясувати в кожному конкретному випадку. Коли ці похибки чималі, то вислідна похибка

$$\Delta_{вис} = \Delta(T, I) + \Delta_m, \quad (11)$$

де Δ_m – сумарна методична похибка.

Таким способом оцінюють досліджену похибку вимірювання під час періодичної перевірки чи метрологічної атестації вимірювальних каналів температури [6]. Коригуючись результатами вимірювань в цьому разі автоматично або ручним способом, вилучаючи знайдене експериментально-розрахунковим шляхом оцінювання значення систематичної складової похибки.

Крім методичної похибки також розглядалася трансформована похибка вимірювання об'ємної витрати моторного палива. Ця похибка обумовлена наявністю похибок у результатах вимірювання цього палива, в тому числі і розглянутими вище.

В ході проведеного чисельного моделювання досліджено сім варіантів визначення алгоритмічним шляхом об'ємної витрати біологічного палива з врахуванням наявності похибок вимірювання температури. Це такі варіанти:

1. Визначення витрат на основі вимірювання температури нагрівача і початкової температури моторного палива;
2. Визначення витрат на основі вимірювання початкової температури моторного палива і температури моторного палива в двох точках вздовж вісі трубки з усередненням результатів для цих двох точок;
3. Підвищення точності варіанту 2 на основі алгоритмічної компенсації випадкових і динамічних похибок за допомогою штучних нейронних мереж (згідно патенту [14, 15]);
4. Підвищення точності варіанту 1 на основі апроксимації результатів вимірювання температури термоперетворювачами та компенсації похибок цих вимірювань (згідно патенту [14, 15]);
5. Підвищення точності варіанту 2 на основі апроксимації результатів вимірювання температури термоперетворювачами та компенсації похибок цих вимірювань (згідно патенту [14, 15]);
6. Підвищення точності варіанту 1 на основі:
 - алгоритмічної компенсації випадкових і динамічних похибок за допомогою штучних нейронних мереж (згідно патенту [14, 15]);
 - апроксимації результатів вимірювання температури термоперетворювачами та компенсації похибок цих вимірювань (згідно патенту [14, 15]);
7. Підвищення точності варіанту 2 на основі:
 - алгоритмічної компенсації випадкових і динамічних похибок за допомогою штучних нейронних мереж (згідно патенту [14, 15]);
 - апроксимації результатів вимірювання температури термоперетворювачами та компенсації похибок цих вимірювань згідно патенту [14, 15].

Результати чисельного моделювання трансформованої похибки представлено на рис. 1.

При мінімальних об'ємах алгоритмічних обчислень найбільш доцільно використання варіанту 1 (визначення витрат на основі вимірювання температури нагрівача і початкової температури моторного палива відповідно з [14, 15]). Такий підхід забезпечує точність вимірювання об'ємних витрат моторного палива 1,0...1,5 % при точності вимірювання температури нагрівача 1 %.

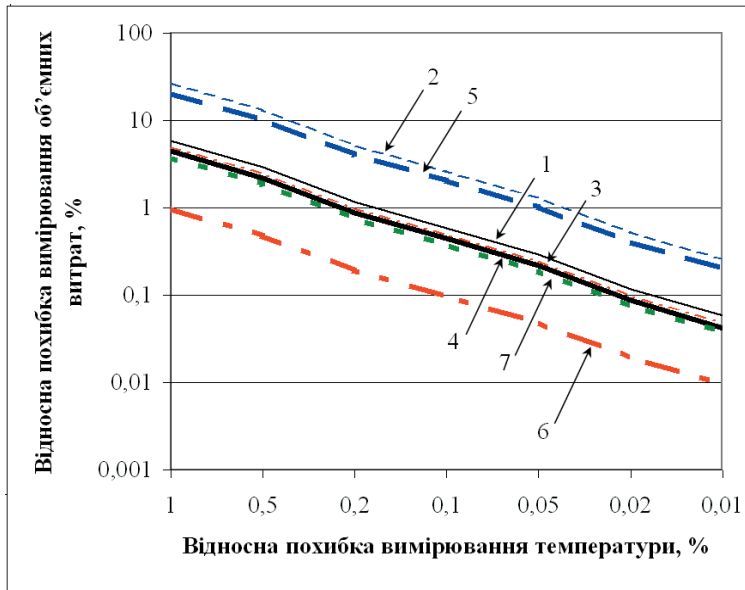


Рис. 1. Відносна значення трансформованої похибки вимірювання об'ємних витрат біодизельного палива розробленим витратоміром (нумерація ліній на малюнку відповідає наведеній вище нумерації варіантів визначення об'ємної витрати)

Для підвищення точності витратоміра необхідно використання більш складних алгоритмічних процедур (апроксимація результатів вимірювань температур біопалива на основі методу найменших квадратів та використання штучних нейронних мереж). Це забезпечує точність вимірювання об'ємних

витрати біопалива:

- забезпечує вищу точність вимірювань (до 1,5 %);
- забезпечує вищу швидкість, ніж відомі прилади, оскільки гарантує безперервний процес вимірювань у реальному часі.

витрат моторного палива 1,0...1,5 % при точності вимірювання температури нагрівача 1 %.

6. Висновки

Розроблено аналітичні залежності, що дозволяють розрахувати похибку вимірювання температури біодизельного палива у термоанемометричному витратомірі. Початковими даними для розрахунку є:

- 1) відносну похибку вимірювання температури;
- 2) ймовірісно-статистичні методи дослідження похибок; систематичної складової похибки ТЕП та інші.

На основі цих залежностей визначено, що похибка вимірювань температури становить 0,05...0,2 % в залежності від значень початкових даних. Ці результати використано для визначення шляхом чисельного моделювання загальної похибки визначення витрати моторного палива, яка не перевищує 1,0...1,5 %.

Таким чином, термоанемометричний витратомір, має такі переваги при визначенні

Література

1. Безвесільна, О. М. Основні вимоги до витратомірів автомобільного біодизельного палива [Текст] / О. М. Безвесільна, Ю. О. Шавурський // Вісник ЖДТУ. – 2009. – 5 с.
2. Льченко, А. Урахування властивостей двокомпонентних палив у процесі вимірювання їх витрати термоанемометричним витратоміром [Текст] / А. В. Льченко, А. О. Романова // Вісник ЖДТУ. – 2007. – 4 с.
3. Поліщук, Є. С. Засоби та методи вимірювання неелектричних величин [Текст] / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, О. В. Івахів, Т. Г. Бойко. – М:Бескид Біт, 2008. – 606 с.
4. Агейкин, Д. И. Датчики контроля и регулирования [Текст] / Д. И. Агейкин, Е. Н. Костина, Н. Н. Кузнецова. – М., Машиностроение, 1965. – 928 с.
5. Мурин, Г. А. Теплотехнические измерения [Текст] / Г. А. Мурин. – М.: Энергия, 1979. – 42 с.
6. Киясбейли, А. Ш. Первичные преобразователи систем измерения расхода и количества жидкостей [Текст] / А. Ш. Киясбейли, Л. М. Лифшиц. – М: Энергия, 1980. – 82 с.
7. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / В. П. Преображенский. – М: Энергия, 1978. – 704 с.
8. Туричин, А. М. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина. – Л: Энергия, 1975. – 576 с.
9. Яцук, В. О. Методи підвищення точності вимірювань [Текст] / В. О. Яцук, П. С. Малахівський. – М: Бескид Біт, 2008. – 368 с.
10. Безвесільна, О. М. Витратометрия [Текст] / О. М. Безвесільна, Ф. Я. Загавура. – К: Либідь, 1996. – 184 с.
11. Безвесільна, О. М. Перетворюючі пристрої приладів [Текст] / О. М. Безвесільна, П. М. Таланчук. – К: ІСДО, 1994. – 448 с.
12. Кремлевский, П. П. Расходомеры и счетчики количества [Текст] / П. П. Кремлевский. – Л: Машиностроение, 1989. – 701 с.
13. Бирюков, Б. В. Погрешности установок точного измерения расхода [Текст] / Б. В. Бирюков, А. С. Данилов. – М: Кивилис - Измерительная техника, 1975. – 242 с.
14. Бошняк, Л. Л. Измерения при теплотехнических исследованиях [Текст] / Л. Л. Бошняк. – Л: Машиностроение, 1974. – 448 с.
15. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н. Б. Варгафтик. – М: Физматгиз, 1963. – 708 с.

16. Патент на винахід № 91160. Високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації [Текст] / Безвесільна О. М., Подчашинський Ю. О., Шавурський Ю. О. – 25.06.2010 р. по заявці №а2009 06515 від 22.06.2009 р.
17. Патент на винахід № 90985. Калориметричний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації [Текст] / Безвесільна О. М., Шавурський Ю. О., Подчашинський Ю. О., Ільченко А. В. – 10.06.2010 р. По заявці №а 2009 10565 від 19.10.2009 р.

Розглянуто результати дослідження процесів тертя та зношування поверхонь з композиційного матеріалу. Проведено аналіз залежностей зміни процентного приросту аналізованих параметрів та їх чутливість до тертя і зношування поверхонь фрикційного контакту з композиційного матеріалу. Показано, що акустична емісія дозволяє фіксувати стадію, яка передуює стадії катастрофічного зносу вузла тертя

Ключові слова: акустична емісія, параметри, сигнал, композит, зношування, тертя, аналіз, приріст, поверхня

Рассмотрены результаты исследования процессов трения и износа поверхностей из композиционного материала. Проведен анализ зависимостей изменения процентного прироста анализируемых параметров и их чувствительность к трению и износу поверхностей фрикционного контакта из композиционного материала. Показано, что акустическая эмиссия позволяет фиксировать стадию, которая предшествует стадии катастрофического износа узла трения

Ключевые слова: акустическая эмиссия, параметры, сигнал, композит, износ, трение, анализ, прирост, поверхность

УДК 620.179:534.6

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ К ИЗНОСУ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

С. Ф. Филоненко

Доктор технических наук, профессор, директор*

E-mail: fils01@mail.ru

Т. В. Нимченко

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра средств технической защиты
информации*

E-mail: fiona54@ukr.net

*Институт информационно-диагностических
систем

Национальный авиационный университет
пр. Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03680

1. Введение

Контроль, мониторинг и диагностика узлов трения являются важными проблемами в обеспечении надежности различных технических устройств. Решение данных проблем базируется на результатах исследований процессов трения и износа поверхностей фрикционного контакта. Для получения информации о данных процессах наибольшее распространение имеют традиционные методы. Они позволяют получать зависимости изменения во времени момента трения, коэффициента трения, температуры в зоне контактного взаимодействия и другие характеристики. Однако, как показывают результаты проводимых исследований, традиционные параметры чувствительны к макропроцессам, которые развиваются в поверхностных слоях материалов. При этом резкое изменение данных параметров наблюдается при возникновении необратимого катастрофического износа и задираания узла

трения. Другими словами, инерционность методов измерения традиционных характеристик приводит к запаздыванию в отображении возникновения и развития различных этапов трения и износа.

Для узлов трения из композиционных материалов (КМ) проблема контроля, мониторинга и диагностики усугубляется спецификой их строения и разрушения. Возникновение первых очагов разрушения поверхностных слоев КМ может приводить к возникновению ускоренного лавинообразного процесса, который ведет к катастрофическому разрушению. С данной точки зрения, важным является обнаружение возникновения начальных этапов данных процессов. Для их обнаружения все большее распространение имеет применение не традиционных методов исследований. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ).

Применение метода АЭ основано на том, что регистрируемое акустическое излучение является отра-